



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



CONSTANCIA DE REVISIÓN

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud a la Tesis cuyo título es:

"Correlación entre el índice de forma y características internas de huevo de gallinas de postura comercial"

presentado por:

Lorena Olenka Muñante Vásquez

Estudiante del nivel **PREGRADO** de la Facultad de **MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**. El resultado obtenido es 15% por el cual se otorga el calificativo de: **APROBADO**, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones: Ninguna

Ica, 24 de abril del 2024

.....
Dr. JUAN RAMON CANEPA ARCOS
Director de unidad de investigación
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



“Correlación entre el índice de forma y características internas de huevo de gallinas de postura comercial”

Línea de investigación de la Facultad:

Producción animal

Línea de investigación de la Universidad:

Salud pública y conservación del medio ambiente

INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

AUTOR

LORENA MUÑANTE VASQUEZ

ASESOR

ELIAS SALVADOR TASAYCO, PhD.

Ica, Perú

2024

DEDICATORIA

A MIS HIJAS ROMY ,CYNTHIA Y KRISS POR SU COMPRENSIÓN
A MIS AUSENCIAS ,POR ALENTARME CON SU TIERNO AMOR Y SER FUENTE DE
FORTALEZA PARA LOGRAR MIS METAS,POR SU GRAN AMOR HACIA MÍ; SU
MADRE!

EN MEMORIA:

A MIS PADRES AMADOS FELICIA Y PEDRO, FUENTE DE
INSPIRACIÓN Y SABIDURÍA.

A MIS SEGUNDOS PADRES MARGOT Y PABLO POR SU
INCONDICIONAL APOYO Y AFECTO.
AUNQUE HOY NO ESTEN FISICAMENTE CONMIGO, SU AMOR Y ESPÍRITU
CONTINUÁN GUIANDO MIS PASOS EN ESTE CAMINO.

AGRADECIMIENTOS

A MI ASESOR ING. ELIAS SALVADOR POR SU EXCELENTE APOYO PARA CULMINAR CON ÉXITO MI TÉSIS.

A MIS FAMILIARES Y PERSONAS QUE HAN CONTRIBUIDO CON SU APOYO EN MI AVANCE EN ESTE CAMINO QUE HOY CULMINA.

MUCHAS GRACIAS, DIOS LOS BENDIGA Y CUIDE.

INDICE DE CONTENIDOS

Títulos y subtítulos	Pág.
Portada.	i
Dedicatoria.	ii
Agradecimientos.	iii
Índice	iv
- Índice de contenidos.	iv
- Índice de tablas.	v
- Índice de anexos.	vi
Resumen.	vii
Abstract.	viii
CUERPO DEL INFORME FINAL	
I. Introducción	9
II. Estrategia metodológica	13
III. Resultados	18
IV. Discusión	21
V. Conclusiones	25
VI. Recomendaciones	26
VII. Referencias bibliográficas	27
VIII. Anexos	31

INDICE DE TABLAS

N°		Pág.
01	Correlación entre el IFH y características de calidad de huevo	18
02	Clasificación del huevo en base a su IFH	19
03	diferencias en las características de calidad de huevo entre diferentes clases de índice de forma de huevo (IFH)	20

INDICE DE ANEXOS

N°		Pág.
01	Fórmula de la dieta utilizada	31
02	Resultado de análisis estadístico	32
03	Fotos del desarrollo del experimento	56

RESUMEN

“Correlación entre el índice de forma y características internas de huevo de gallinas de postura comercial”

INTRODUCCIÓN: para la industria avícola, la comercialización de huevos y el consumidor es de importancia el manejo de calidad de huevo por su importancia económica y de salud pública. Ciertas características físicas como el índice de forma de huevo pueden ser medidas de manera práctica no invasiva o no destructiva y se puede relacionar a las características de calidad de huevo, lo que permitirá mejorar los sistemas de clasificación y manipulación del huevo.

OBJETIVO: determinar la correlación entre el índice de forma de huevo (IFH) y las características internas de calidad de huevo, así como comparar las características internas de calidad de huevo de acuerdo con los grupos de clasificación de huevos puntiagudos, estándar y redondos (IFH) de gallinas de postura comercial de la línea DEKALB de 45 semanas de edad.

MÉTODOS: Se utilizaron 120 huevos provenientes de gallinas de postura de la línea genética DEKALB Brown de 45 semanas de edad. Se aplicaron 3 tratamientos en función de la clasificación del IFH: <72 (T-1), $72-76$ (T-2) y >76 (T-3). Cada clasificación tuvo 40 repeticiones, dando un total de 120 huevos utilizados. Se evaluaron las siguientes variables: unidad Haugh, índice de yema, color de yema, peso absoluto y relativo de yema, peso absoluto y relativo de albumen, peso relativo de cascara, resistencia a la rotura de cascara, grosor de cascara, ancho y largo de huevo. Se realizaron análisis estadísticos de correlación, regresión, ANVA, Kruskal-Wallis, Tukey.

RESULTADOS: se encontró correlación significativa entre el IFH y las características de índice de yema, peso absoluto de albumen, ancho y largo de huevo. En la comparación entre grupos de clasificación, se encontraron diferencias significativas en el índice de yema que fue mayor en los huevos con IFH >76 , peso absoluto y relativo de albumen que fue mayor con el IFH <72 , ancho de huevo que fue mayor en los huevos con IFH >76 y largo de huevo que fue más alto en los huevos con IFH <72 . Las características restantes fueron similares estadísticamente en todos los grupos de clasificación.

CONCLUSIONES: existe correlación significativa del IFH con peso de albumen, índice de yema, con ancho y largo de huevo. Las tres clasificaciones de IFH fueron estadísticamente diferentes. Las características de índice de yema, peso absoluto y relativo de albumen, ancho y largo de huevo fueron estadísticamente diferentes entre las tres clasificaciones de IFH. Esta técnica debe ser validada y podría ser una estrategia para su aplicación comercial y contribuir a mejorar el sistema de clasificación de huevos comerciales.

Palabras claves: índice forma huevo, calidad huevo, gallinas postura

ABSTRACT

“Correlation between the shape index and internal characteristics of eggs from commercial laying hens”

INTRODUCTION: For the poultry industry, egg marketing and the consumer, egg quality management is important due to its economic and public health importance. Certain physical characteristics such as the egg shape index can be measured in a practical, non-invasive or non-destructive manner and can be related to egg quality characteristics, which will improve egg classification and handling systems. **OBJECTIVE:** to determine the correlation between the egg shape index (IFH) and the internal egg quality characteristics, as well as to compare the internal egg quality characteristics according to the classification groups of pointed, standard and round eggs (IFH) from commercial laying hens of the 45-week-old DEKALB line **METHODS:** 120 eggs from 45-week-old laying hens of the DEKALB Brown genetic line were used. 3 treatments were applied depending on the IFH classification: <72 (T-1). 72-76 (T-2) and >76 (T-3). Each classification had 40 repetitions, giving a total of 120 eggs used. The following variables were evaluated: Haugh unit, yolk index, yolk color, absolute and relative weight of yolk, absolute and relative weight of albumen, relative weight of shell, resistance to shell breakage, shell thickness, width and length. of egg. Statistical analysis of correlation, regression, ANVA, Kruskal-Wallis, and Tukey were performed. **RESULTS:** a significant correlation was found between the IFH and the characteristics of yolk index, absolute albumen weight, egg width and length. In the comparison between classification groups, significant differences were found in the yolk index, which was greater in eggs with IFH >76, absolute and relative albumen weight, which was greater with IFH <72, and egg width, which was greater in eggs with IFH >76 and egg length that was higher in eggs with IFH <72. The remaining characteristics were statistically similar in all classification groups **CONCLUSIONS:** there is a significant correlation of IFH with albumen weight, yolk index, and egg width and length. The three IFH classifications were statistically different. The characteristics of yolk index, absolute and relative albumen weight, egg width and length were statistically different between the three IFH classifications. This technique must be validated and could be a strategy for commercial application and contribute to improving the commercial egg grading system.

Keywords: egg shape index, egg quality, laying hens

I. INTRODUCCION

Uno de los temas muy poco estudiado está relacionado con los factores que están involucrados en la calidad de huevo para consumo humano. Este tema es de importancia, ya que está relacionado con las preferencias y demanda del consumidor, pero que además tiene una importancia económica para la industria avícola. A nivel comercial, en general no existen procedimientos que permitan hacer una óptima selección y clasificación de huevos considerando características de calidad en base al índice de forma del huevo (IFH).

Actualmente para conocer la calidad interna de huevo se requiere quebrar el huevo para determinar los valores de calidad interna, sin embargo, conociendo sus características físicas de índice de formas (IFH) asociadas a la calidad interna permitirá tener información con buena aproximación de estimar la calidad interna de huevo y hacer una adecuada clasificación de los huevos a comercializar.

Las características de calidad del huevo determinan el precio directamente en las parvadas comerciales y generalmente se describen en relación con los requerimientos de los consumidores (1). Las características de huevo están relacionadas entre sí y esta asociación podría ser un indicador que nos permita seleccionar los huevos para gestionar mejor su calidad interna bajo condiciones de almacenamiento, sin embargo, actualmente es escasa la información sobre estas correlaciones de características de calidad de huevo

La industria avícola moderna requiere información actualizada para que mejore su gestión de calidad de huevo con el propósito de ofrecer a los consumidores un huevo de mejor calidad. Según Inca et al (2) consideran que la edad de las gallinas tiene un impacto sobre las características externas e internas de calidad del huevo, por lo que la producción de huevos podría estar en serio riesgo si no se consideran seriamente las características de calidad del huevo y la edad de las gallinas.

Las características externas e internas de la calidad del huevo cambian durante el período de postura de las gallinas reproductoras de pollos de engorde (3). Con el avance del período de puesta, el peso del huevo aumenta (principalmente debido al aumento del peso de la yema), mientras que el índice de forma del huevo, la proporción de la cáscara, el grosor de la cáscara, el índice de la yema y las unidades Haugh disminuyen (4, 5, 6)

Existen otros factores que influyen sobre la calidad de los huevos, son factores genéticos y no genéticos que varían entre las diferentes granjas y lotes de reproductoras de pollos de engorde, los más importantes de los cuales son el genotipo, la nutrición, el estado de salud y las condiciones ambientales (7).

En un estudio de Vekic *et al.* (3) se encontró una correlación negativa significativa ($p < 0,01$) entre el índice de forma del huevo y la longitud del huevo (-0,71), mientras que el índice de forma del huevo se correlacionó positivamente con el ancho del huevo (0,28).

Según los estudios de Olawumi & Ogunlade (8) e Inca *et al.* (2) establecieron una relación entre el índice de forma del huevo y las dimensiones del huevo. Los resultados de Sirri *et al.* (9) informaron una correlación negativa y Duman *et al.* (10) establecieron una correlación positiva entre estas dos características.

Un estudio de Machal and Simeonovova (11) encontraron que los coeficientes de correlación entre la fuerza de la cáscara del huevo y el índice de forma fue positiva (desde $r_p = 0,37$ ($P < 0,05$) hasta $r_p = 0,59$ ($P < 0,01$)). Las correlaciones entre la fuerza de la cáscara de huevo y la proporción de cáscara de huevo también fueron positivas, $r_p = 0,44$, a $r_p = 0,74$ ($P < 0,01$). Los coeficientes de correlación entre la fuerza de la cáscara y el número de huevos fueron principalmente negativos – $r_p = -0,34$ ($P < 0,05$) y $r_p = -0,44$ ($P < 0,01$). Las correlaciones entre la fuerza de la cáscara y los huevos resquebrajados fueron – $r_p = -0,40$ ($P < 0,05$) y $r_p = -0,52$ ($P < 0,01$). Se encontraron coeficientes de correlación principalmente negativos entre la fuerza de la cáscara del huevo y los huevos de doble yema – $r_p = -0,43$ ($P < 0,05$). Las correlaciones entre la fuerza de la cáscara del huevo y los huevos sin cáscara también fueron principalmente negativas – $r_p = -0,35$ y $-0,38$ ($P < 0,05$).

Vekic *et al.* (3) llevaron a cabo un estudio con el fin de determinar las correlaciones fenotípicas entre los rasgos de calidad de los huevos de gallinas reproductoras broiler (Cobb 500) de 41 semanas de edad. En esta prueba se analizaron un total de 105 huevos aptos para la incubación mediante estadística descriptiva y el coeficiente de correlación de Pearson. Los valores promedio de peso del huevo, largo del huevo, ancho del huevo, índice de forma del huevo, grosor de la cáscara, peso de la cáscara y proporción de la cáscara fueron 66,90 g, 60,00 mm, 44,81 mm, 74,70 %, 0,37 mm, 6,07 g y 9,07 %, respectivamente. Además, los valores promedio del peso de la yema, el peso de la albúmina, la proporción de la yema, la proporción de la albúmina, las unidades Haugh, el índice de la yema y la proporción entre la yema y la albúmina fueron 20,04 g, 40,80 g, 29,97 %, 60,95 %, 82,12, 46,17 % y 0,49, respectivamente. Se encontró una correlación positiva significativa ($p < 0,01$) entre el peso del huevo y la longitud del huevo (0,75), el ancho del huevo (0,80), la cáscara (0,55), la yema (0,60), el peso de la albúmina (0,91) y la proporción de albúmina (0,25). Sin embargo, se encontró una correlación negativa significativa ($p < 0,01$) entre el peso del huevo y la proporción de yema (-0,20) y la proporción de yema a albumina (-0,23). El índice de forma del huevo demostró no estar significativamente correlacionado con ninguno de los rasgos de calidad interna del huevo considerados. El grosor de la cáscara presentó una correlación positiva significativa ($p < 0,01$) con el peso de la cáscara (0,83) y la proporción (0,86), mientras

que se encontró una correlación negativa significativa ($p < 0,05$) entre el grosor de la cáscara y la proporción de la yema (-0,23). Las unidades Haugh presentaron una correlación positiva significativa ($p < 0,05$) con la relación de albúmina (0,24) y el índice de yema (0,27), mientras que se encontró una correlación negativa significativa ($p < 0,05$) entre las unidades Haugh y la relación de yema (-0,22) y relación yema-albúmina (-0,23). Los resultados obtenidos confirman correlaciones fenotípicas significativas no solo entre el peso del huevo y los rasgos de calidad del huevo considerados, sino también entre una serie de rasgos de calidad externos e internos de los huevos para incubar de pollos de engorde.

Inca *et al.* (2), realizaron un estudio con el objetivo de analizar las correlaciones fenotípicas entre algunas características internas y externas de la calidad del huevo en gallinas ponedoras adultas de 85 semanas de edad. Utilizaron un total de 288 huevos provenientes de gallinas ponedoras Hy-Line Brown de 85 semanas de edad durante 3 semanas y se evaluaron sus características internas y externas del huevo. Encontraron que las correlaciones fenotípicas entre las características de la calidad del huevo en gallinas ponedoras adultas indican un impacto negativo en la calidad de la cáscara y la albúmina, pero no afectan las características de la calidad de la yema. Concluyen que criar gallinas ponedoras por encima de las 80 semanas de edad tendría un impacto negativo en las características de calidad del huevo.

El presente estudio está relacionado directamente con la calidad de huevo que es un tema de importancia para la preferencia del consumidor y que la empresa avícola necesita conocer para una mejor gestión en su comercialización.

El estudio sobre calidad de huevo tiene una importancia económica para la industria avícola ya que conocer la relación entre las características de calidad de huevo permitirá una mejor clasificación en los canales de comercialización. La característica fenotípica para los rasgos de calidad externa e interna del huevo es importante principalmente por el interés de la economía de producción (12). La cáscara del huevo agrietado presenta grandes pérdidas para los productores de huevos de mercado, especialmente si los huevos se producen a partir de gallinas viejas en el segundo ciclo de postura (12).

Los resultados de este estudio permitirán una mejor selección de los huevos para su comercialización. En las empresas modernas, hoy en día la clasificación de los huevos está altamente tecnificada y las características en evaluación llevaran a una base de datos de interés para el manejo adecuado de los huevos que no son comercializados en el día y que requieren tiempo de almacenamiento.

Es muy importante evaluar las características de calidad de los huevos y el factor de edad que puede afectarlos. El genotipo y el factor edad podrían ser los factores más importantes que

influyen no solo en el peso del huevo, sino también en otras características (externas e internas) del huevo (13).

Kul y Seker, (14) han reportado correlaciones positivas entre algunas características externas e internas de la calidad del huevo en codornices japonesas. Resultados de estudios indican que la relación entre el índice de forma del huevo y el ancho es alta (15).

En base a lo descrito y la falta de información de este tema bajo nuestras condiciones, se planteó la hipótesis que existe una correlación significativa entre el índice de forma de huevo (IFH) y las características internas de calidad de huevo además que los grupos de huevos clasificados de acuerdo con su IFH como puntiagudos, estándar y redondos presentan características internas diferentes de calidad de huevo de gallinas de postura comercial de la línea DEKALB Brown de 45 semanas de edad, por lo que se realizó este estudio con el objetivo de determinar la correlación entre el índice de forma de huevo (IFH) y las características internas de calidad de huevo así como comparar las características internas de calidad de huevo de acuerdo con los grupos de clasificación de huevos puntiagudos, estándar y redondos (IFH) de gallinas de postura comercial de la línea DEKALB de 45 semanas de edad

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1 Edad de las gallinas:

45 semanas de edad.

2.2 Periodo de duración del estudio:

El estudio tuvo una duración de 12 semanas.

2.3 Inicio de la investigación: julio del 2023

2.4 Término de la investigación: noviembre del 2023

2.5 Nivel de investigación:

Investigación aplicada

2.6 Tipo de investigación:

Investigación experimental

2.7 Diseño de la investigación:

Los huevos se clasificaron con respecto al índice de forma (IFH), siguiendo la clasificación de Sarica y Erensayin (16), de la siguiente manera:

- a. Huevo puntiagudo ($IFH < 72$)
- b. Huevo normal (estándar) ($IFH = 72-76$)
- c. Huevo redondo ($IFH > 76$)

Para este experimento y de acuerdo con los cálculos del tamaño de muestra se utilizaron 40 huevos de clasificación aguda, 40 huevos de estándar y 40 huevos de clasificación redonda, en total 120 huevos de la producción diaria y fueron seleccionados al azar para los análisis de las características de calidad del huevo.

2.8 Tamaño de muestra de huevos

Se utilizaron 120 huevos frescos de gallinas de postura de la línea genética DEKALB Brown de 45 semanas de edad. El cálculo de la muestra se realizó utilizando el software GRAMNO (17):

Dónde:

$Z\alpha$ = valor de Z correspondiente al riesgo α fijado = 0.05 (1.645);

$Z\beta$ = valor de Z correspondiente al riesgo β fijado = 0.20 (0.842);

S = desviación estándar (*) = ± 2.9 (IFH)

(*) = El valor referencial de desviación estándar del IFH se obtuvo de un estudio piloto previo (2022).

d = valor mínimo de la diferencia en el IFH que se desea detectar = 3

Proporción prevista de pérdidas de seguimiento = 20%

Tipo de contraste bilateral

Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral, se precisan 25 unidades en cada grupo para detectar una diferencia mínima de 3 entre dos grupos, asumiendo que existen 3 grupos y una desviación estándar de 2.9. Se ha estimado una tasa de pérdidas de seguimiento del 20% (17).

Se aumentó a 40 huevos de gallinas de postura por grupo (tratamiento) lo que da un total de 120 huevos utilizados

2.9 Técnicas e instrumentos de la recolección de información.

a. Observación: desde el inicio del experimento todos los grupos de estudio establecidos estuvieron bajo observación para verificar que se cumpla con el plan establecido.

b. Registros: consiste en registrar todos los datos que corresponde a las variables dependientes en estudio en el momento de los análisis de calidad de huevo.

c. Hojas de cálculo de Excel: se utilizaron las hojas de cálculo de Excel para efectos de estimar y calcular los indicadores de los datos primarios.

d. Tablet: este dispositivo fue utilizado para registrar, almacenar y realizar los cálculos de los datos tabulados.

2.10 Lugar y fecha de ejecución.

El presente experimento se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Nutrición R & D y la unidad de investigación de gallinas de postura de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional “San Luis Gonzaga” - ICA – Ex - Fundo Hijaya Chinchá – Ica – Perú.

2.11 Localización geográfica y meteorológica.

La ciudad de Chinchá está ubicada a 188 kilómetros al sur de Lima, sobre los 94 m s. n. m. Con una latitud de 13°27'00" S y longitud de 76°08'00" O. Una temperatura mínima promedio de 19.25°C y temperatura máxima promedio de 26.95°C. Humedad relativa mínimo promedio de 58.75 % y humedad relativa máxima promedio de 93.25 % (Estación Meteorológica de Chinchá, FONAGRO (18)).

2.12 Materiales y equipo.

a. Instalaciones

- Galpón de gallinas de postura en producción
- Laboratorio de investigación en nutrición

b. Equipos:

- Balanza analítica
- Medidor de calidad de huevo DET-6500
- Micrómetro digital (MITUTOYO 547-360, Kawasaki, Japan)

c. Materiales e insumos:

- Vasos de precipitación
- Guantes descartables
- Papel toalla
- Agua destilada
- Huevos frescos
- Bandejas de huevo
- Calímetro digital

2.13 Alimentación y formulación de la dieta.

La dieta fue distribuida de manera controlada a todas las gallinas de las cuales fueron muestreadas los huevos frescos para los análisis respectivos.

Para la elaboración de la fórmula de la dieta balanceada se utilizó el Software de formulación Animal Feed Optimization Software AFOS (19) y el LP máxima rentabilidad (20).

2.14 Programa sanitario y de manejo.

Todas las gallinas de postura en prueba recibieron un programa sanitario, alimentación, manejo y condiciones ambientales similares, siguiendo los protocolos que normalmente se emplean bajo las condiciones de granja.

2.15 Tratamientos experimentales

Se formaron tres grupos de estudio

T-1: Huevos puntiagudos con IFH < 72

T-2: Huevos normales (estándar) con IFH 72 – 76

T-3: Huevos redondos con IFH >76

2.16 Variables.

variable independiente

a. Índice de forma del huevo (IFH)

$$\text{IFH} = (\text{ancho del huevo (mm)} / \text{largo del huevo (mm)}) \times 100$$

El índice de forma del huevo (IFH) se determina en función de la relación del ancho y la longitud del huevo de acuerdo con lo descrito por Duman *et al.* (10).

variables dependientes.

a. Características de calidad de huevo

- Unidad Haugh (UH)

Se realizó con el uso del equipo por inteligencia artificial: analizador de huevo digital denominado Digital Egg Tester (DET, 6500-NABEL-JAPON).

Se hace uso de la siguiente ecuación de unidad Haugh:

$$\text{UH} = 100 \times \log (\text{H} + 7,57 - 1,7 \times \text{W}^{0,37}), \text{ donde están: H} = \text{altura de la albúmina (mm), W} = \text{peso del huevo (g)}$$

- Peso de yema

Peso de cada yema de huevo medido en gramos (g)

- Color de yema

De acuerdo con el score de colores de DSM (1-16)

- Peso de la albúmina (PA)

$$\text{PA} = \text{peso del huevo (g)} - (\text{peso de la yema (g)} + \text{peso de la cáscara (g)})$$

- Proporción de albúmina (% A)

$$\% \text{A} = (\text{peso de la albúmina (g)} / \text{peso del huevo (g)}) \times 100$$

- Proporción de yema (% Y)

$$\% \text{Y} = (\text{peso de yema (g)} / \text{peso de huevo (g)}) \times 100$$

- Índice de yema (IY)

$$\text{IY} = (\text{altura de la yema (mm)} / \text{diámetro de la yema (mm)})$$

- Resistencia a la rotura de cáscara (RC)

Medido por los Kg de fuerza para romper la cascara de huevo

- Grosor de cascara (GC)

Se mide el grosor de 3 trozos de cáscara, uno por cada uno de los dos extremos (extremo ancho y estrecho) y uno del cuerpo de los huevos, se medirá con el equipo portátil micrómetro digital (MITUTOYO 547-360, Kawasaki, Japan) con precisión de ± 0.01 mm. Las medidas se realizaron en el extremo romo, el medio y el extremo puntiagudo del huevo. Luego se calculó el grosor de la carcasa como un promedio de tres lecturas

- Porcentaje de cascara (%):

El peso de la cáscara se divide por el peso del huevo para obtener la proporción o relación de cáscara.

2.17 Análisis estadístico.

Los datos de las variables cuantitativas de las características de huevo entre los grupos con diferentes IFH evaluados fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía (one-way), utilizando el procedimiento GLM del software SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, 2022, v. 9.4) (21). Se realizó un análisis de correlación de Pearson, Spearman y regresión entre el IFH y las características de huevo.

Las variables no paramétricas fueron analizadas con la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes.

Cada réplica se consideró como una unidad experimental para todos los análisis

Se utilizó el procedimiento LSMEANS para calcular las medias del tratamiento y se utilizó la opción PDIF de SAS para separar las medias si la diferencia es significativa (21).

Se realizaron análisis de comparaciones múltiples utilizando la prueba de Tukey cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas (21).

La significación estadística y las tendencias se consideraron en $P \leq 0.05$ y $0.05 < P \leq 0.10$, respectivamente (22).

III. RESULTADOS

3.1 Correlación entre el índice de forma del huevo (IFH) y las características de calidad de huevo

En la tabla 1 se presentan los resultados de la relación del índice de forma de huevo (IFH) con las características de calidad de huevo (internas y externas). La correlación es muy baja y no es estadísticamente significativa ($P>0.05$) con las variables unidad Haugh, color de yema, peso de yema, peso relativo de yema, peso relativo de albumen, peso relativo de cáscara, resistencia a la rotura de cáscara y grosor de cáscara. La unidad Haugh tiene una correlación moderada a baja y fue estadísticamente significativa ($P<0.05$). El peso de albumen tiene una correlación de débil a bajo y fue estadísticamente significativa ($P<0.05$). El ancho de huevo tiene una correlación moderada a bajo y fue estadísticamente significativo ($P<0.05$) y el largo de huevo tiene una correlación moderada y fue estadísticamente significativo ($P<0.05$).

Tabla 1: Correlación entre el IFH y características de calidad de huevo

Características de calidad	r	P-value
UH	0.125	0.1732
IY	0.473	<.0001
Color de yema	-0.1453	0.1132
Peso yema	- 0.038	0.6769
PR yema	0.161	0.0776
Peso albumen	- 0.241	0.0080
PR albumen	- 0.165	0.0709
PR cáscara	0.049	0.5894
Resistencia a rotura cáscara	- 0.027	0.7631
Grosor cáscara	0.114	0.2116
Ancho de huevo	0.493	<.0001
Largo de huevo	-0.699	<.0001

r = coeficiente de correlación. $P<0.05$ = relación no significativa; $P<0.05$ = relación significativa
IFH= índice de forma de huevo; PR = peso relativo; IY=índice de yema; UH= unidad Haugh

3.2 Clasificación del huevo como redondos, normales y puntiagudos según el valor calculado para el índice de forma (IFH)

En la tabla 2 se presentan los resultados de los promedios y desviación estándar de las tres clasificaciones según los valores correspondientes del índice de forma de huevo. Los promedios son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$) entre las tres clasificaciones.

Tabla 2: Clasificación del huevo en base a su IFH

Clasificación	n	IFH ($\bar{x} \pm DE$)
Puntiagudo (IFH <72)	40	71.25 ^c ± 0.53
Normal – estándar (IFH 72-76)	40	74.84 ^b ± 0.76
Redondo (IFH >76)	40	78.30 ^a ± 1.90
P-value		<.0001

$P < 0.05$ = diferencia significativa estadísticamente

3.3 Comparación de las características de calidad de huevo entre diferentes clases de índices de forma del huevo (IFH)

En la tabla 3 se presentan los resultados de la comparación de las características de calidad de huevo entre las diferentes clases de IFH. Se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el índice de yema, peso absoluto y PR de albumen, ancho y largo de huevo. Hubo un valor de IY mas alto con el IFH >76 y un valor mas bajo con el IFH <72 . El mayor peso absoluto y relativo se encontró con el IFH mas bajo (<72). El valor mas alto del ancho de huevo se encontró con el IFH <76 y el menor con el IFH <72 . El valor mas alto de largo de huevo se encontró con el IFH <72 y el mas bajo con el IFH >76

Tabla 3: diferencias en las características de calidad de huevo entre diferentes clases de

Características de calidad	IFH ($\bar{x} \pm DE$)			P-value
	<72	72-76	>76	P-value
UH	91.32 \pm 3.23	91.54 \pm 5.65	92.85 \pm 5.54	0.2470
IY	0.415 \pm 0.018	0.439 \pm 0.046	0.463 \pm 0.054	$<.0001$
Color de yema	7.40 \pm 0.49	7.50 \pm 0.55	7.22 \pm 0.65	0.0910
peso yema	17.36 \pm 0.84	17.22 \pm 1.41	17.30 \pm 1.68	0.9013
PR yema	24.76 \pm 1.35	25.67 \pm 1.98	25.63 \pm 2.51	0.0743
Peso albumen	45.97 ^a \pm 2.77	43.22 ^b \pm 3.54	43.71 ^b \pm 4.62	0.0028
PR albumen	65.46 ^a \pm 1.51	64.29 ^b \pm 2.04	64.46 ^{ab} \pm 2.76	0.0379
PR cáscara	9.77 \pm 0.58	10.02 \pm 0.54	9.89 \pm 0.97	0.3131
Resistencia	4.17 \pm 0.33	4.27 \pm 0.72	4.11 \pm 1.10	0.6299
Grosor cáscara	0.397 \pm 0.016	0.405 \pm 0.016	0.407 \pm 0.041	0.2638
Ancho de huevo	43.89 ^b \pm 1.45	44.53 ^b \pm 0.91	45.45 ^a \pm 1.20	$<.0001$
Largo de huevo	61.61 ^a \pm 2.16	59.50 ^b \pm 1.10	58.07 ^c \pm 1.78	$<.0001$

índices de forma de huevo (IFH)

$P < 0.05$ = diferencia estadísticamente significativa

IV. DISCUSION

Según los resultados del presente estudio, se encontró correlación significativa entre el índice de forma del huevo (IFH) y algunas de las características de calidad de huevo que son de interés, como son el índice de yema, peso de albumen, ancho y largo de huevo. Previa validación, esta estrategia podría ser utilizada de manera no invasiva o no destructiva en el proceso de clasificación del huevo en la industria avícola. Estimar los parámetros de la calidad interna y externa del huevo a partir del análisis de las formas de huevo tiene aplicación industrial y es significativa (importante) para la clasificación de huevos (23). El índice de forma del huevo es la relación entre el ancho y el largo del huevo (multiplicado por 100), es un criterio esencial para determinar la calidad del huevo (10)

Según Yenilmez and Atay (24) los cambios en la calidad externa e interna de los huevos comestibles con la edad afectan significativamente las preferencias de los consumidores. Por otro lado, los huevos se clasifican según su calidad externa en las empresas y los huevos de baja calidad se venden a precios más bajos. A medida que las gallinas envejecen, la calidad disminuye y afecta negativamente a la economía de las empresas. Por lo tanto, este tipo de estudios es de importancia tanto para el consumidor como para la industria avícola ya que mejora y hace mas eficiente el sistema de clasificación del huevo en función de relacionar ciertas características con el IFH.

En el presente estudio se encontró correlación moderada a baja positiva (+ 0.49, <.0001) significativa entre el IFH y el ancho de huevo y una correlación moderada negativa (- 0.69, <.0001) significativa con el largo de huevo. Este resultado coincide con el estudio de Shaker et al. (25) quienes encontraron que el IFH tuvo un coeficiente de correlación negativo significativo con la longitud del huevo en líneas genéticas black (B), Black Brown neck (BBN) e Isa brown, que fue moderado en B ($r = 0,593$) y fuerte tanto en BBN como en Isa brown ($r = 0,877, -0,771$) respectivamente y no significativo en gallinas Ross. El IFH tuvo una correlación positiva significativa ($p < 0,05$) y la anchura del huevo varió para todas las líneas B, BBN, Isa brown y Ross (0,388, 0,366, 0,394, 0,519) respectivamente. Los investigadores concluyen que la predicción del IFH mediante análisis de regresión múltiple podría ser un buen método para estimar la edad mediante una ecuación de estimación para cada edad de producción, la edad adecuada para los polluelos que nacen y el valor genético de los pollos. Además, las relaciones existentes entre el IFH y otros parámetros estudiados pueden ser útiles en el plan de reproducción

En nuestro estudio, no se encontró una correlación significativa entre el IFH y la unidad Haugh, lo que concuerda con el estudio de Zhang et al. (26), quienes informaron una correlación positiva no significativa entre el índice de forma y la unidad de Haugh.

Así mismo en el presente estudio se encontró correlación moderada a baja positiva significativa (0.47, <.0001) entre el IFH y el índice de yema, resultado que no concuerda con el estudio de

Duman et al., (10) quienes no encontraron correlación significativa entre el IFH y el índice de la yema ($P>0,05$). En el mismo estudio tampoco se encontró una correlación significativa ($P>0,05$) entre el IFH y el color de la yema, resultado que está en la línea con nuestro estudio donde no se encontró correlación significativa.

Conocer la relación de las características de huevo para consumo permite una mejora no solo en el sistema de clasificación sino también en la manipulación de los huevos en su comercialización. La forma ovoide del huevo, le confiere propiedades mecánicas, permitiendo su manipulación, transporte, procesamiento y envasado (27). La forma del huevo es una característica esencial a considerar, ya que los huevos con forma "normal" minimizan las pérdidas por rotura durante el transporte (28, 29)

Incluso existen estudios que relacionan el IFH con otras características de interés como es la fisiología de la gallina de postura. Los huevos en general tienen varias formas diferentes y que estas diferencias están relacionadas con varios aspectos, incluida la fisiología de la gallina (30).

Numerosas variables afectan los rasgos de calidad del huevo y conocer la relación entre la forma del huevo y su calidad podría favorecer la mecanización del proceso de clasificación. Hay factores hereditarios que controlan el tamaño y la forma del huevo. El tamaño del huevo depende del peso de sus componentes, principalmente del volumen de la yema. Varios factores pueden influir en la morfología del óvulo, como la genética, la edad, la anatomía del sistema reproductivo y las condiciones ambientales (31). También está regulado por el tamaño del oviducto de la gallina, dependiendo de la edad, la estación, la nutrición y los tipos de sistemas de cría del ave (32)

Oliveira-Boreli et al. (31) reportan que, en estudios previos, los huevos eran más redondos cuando las gallinas tenían entre 20 y 24 semanas de edad y una mayor proporción de huevos normales cuando las gallinas tenían entre 38 y 60 semanas de edad. Así mismo, los resultados de su estudio indican que los huevos puntiagudos tienden a ser más pesados. También encontraron que los huevos redondos presentan mayor espesor de cáscara. Las gallinas ponedoras de hasta 45 semanas de edad produjeron huevos con el índice de forma más alto y la mayoría de los huevos redondos, y los huevos más viejos con el índice de forma más bajo y la mayoría de los huevos puntiagudos. Nikolova y Kocovski (33) observaron que la edad afectaba significativamente el índice de forma del huevo.

En nuestro estudio no se considero la incidencia de las tres clases de IFH ya que por la baja disponibilidad de las aves fue una limitante, por lo que estuvo restringido a seleccionar las cantidades previstas (40) por cada clase, sin embargo, se debe señalar que al momento de recolectar los huevos para su medición se encontraba un mayor número de huevos en la clasificación de IFH estándar (72-76).

Según los resultados de nuestro estudio, al comparar los valores de las características entre las tres clasificaciones se encontró diferencias significativas en el índice de yema (IY), peso absoluto (PAA) y relativo de albumen (PRA), ancho (AH) y largo de huevo (LH). El IY fue más alta en la clasificación >76 (huevos redondos) y más baja en los huevos con IFH <72. El peso absoluto y relativo de albumen fue mayor en el IFH <72. El ancho de huevo fue mayor con el IFH >76 y el largo de huevo fue mayor con el IFH <72.

Según estudio de Lordelo (34) los huevos de gallinas de estirpe comercial presentaron formas más redondeadas en comparación con los de aves de estirpes nativas.

En el presente estudio no se encontró diferencia significativa en la unidad Haugh entre las tres clasificaciones y no se encontró correlación significativa de la unidad Haugh con el IFH, sin embargo, Duman et al. (10) encontraron que la unidad Haugh y la gravedad específica eran mayores para los huevos más redondos, encontrando una correlación positiva entre el índice de forma y la unidad Haugh

En nuestro estudio no se encontró correlación significativa entre el IFH y la resistencia a la rotura de cascara, mientras que Altuntas , y Sekeroglu (27) encontraron que la fuerza de rotura está directamente asociada con el índice de forma del huevo, y cuanto mayor es el valor del índice, mayor es la resistencia a la rotura de la cáscara.

Según los resultados del estudio de Oliveira-Boreli (31) ellos concluyen que los huevos redondos y normales presentaron mejores parámetros de calidad interna y de cáscara que los huevos puntiagudos. El análisis de la forma del huevo mediante análisis de imágenes puede adoptarse como herramienta para estimar la calidad del huevo comercial. Independientemente de la edad de las gallinas, encontraron que la forma del huevo está asociada con los rasgos de calidad del huevo (peso del huevo, unidad Haugh, altura de la albúmina estructural, resistencia de la cáscara, espesor de la cáscara y gravedad específica), permitiendo un análisis no destructivo basado en la geometría del huevo para automatizar la clasificación de procesos en la industria procesadora de huevos.

Es necesario indicar que, según estudios, la anchura del huevo, que es uno de los parámetros del índice de forma más utilizados, aumenta significativamente con la edad dentro de la raza de pollo (35), pero no así la longitud del huevo (25).

Si bien nuestro estudio está enfocado a relacionar el IFH con la calidad de huevo para beneficiar a la industria avícola en mejorar su sistema de clasificación de huevos y al consumidor asegurarle una mejor calidad de huevo, sin embargo, existen otras aplicaciones de igual o mayor importancia tanto económica como productiva. Por ejemplo, Kayadan y Uzun (36) reportan que en las gallinas ponedoras sólo se utilizan polluelos hembras, normalmente se sacrifican los polluelos machos

nacidos. Se estima que alrededor de 7 mil millones de polluelos al año mueren inmediatamente después de nacer. Esta situación, además de poco ética, también provoca grandes pérdidas económicas. La determinación del sexo en los polluelos se puede realizar antes o después de la eclosión. Las determinaciones realizadas antes de la eclosión son más ventajosas, pero la tasa de predicción es relativamente baja. La morfología de un huevo se expresa en términos del índice de forma (SI), que es la relación entre el diámetro corto y el diámetro largo.

Estos investigadores reportan un reciente estudio, donde los polluelos machos y hembras se predijeron utilizando el índice de forma de los huevos utilizando el clasificador RUSBoost utilizando el índice de forma. Aunque el SI varió según el tipo de huevo, se observó una correlación significativa ($r = 0,78$) entre el sexo del polluelo y el SI. Por lo tanto, fue posible estimar el sexo utilizando SI en pollos, incluso si la precisión de la clasificación no era tan alta como en los patos. Además del SI, se obtuvieron y utilizaron para los resultados los parámetros de masa, eje corto, eje largo, ovalidad, volumen y excentricidad. Con estas características, las hembras clasificaron correctamente con un 80% y los machos con un 81%. Las predicciones del modelo se aplicaron a la ecuación de probabilidad de eclosión de polluelos de estudios anteriores, el 71% de las estimaciones se clasificaron correctamente de acuerdo con esta ecuación. Con este trabajo, se realizaron alrededor del 80% de predicciones precisas. En este caso, se podría evitar la muerte de 5,65 mil millones de polluelos. Asimismo, muchos huevos no se desperdician. Se pueden evitar pérdidas por valor de 1,13 mil millones de dólares. En esta línea se deben de diseñar mas estudios para evaluar y validar su aplicabilidad comercial.

Finalmente, es necesario tomar en cuenta ciertas limitaciones de nuestro estudio, que esta supeditado a las condiciones como línea genética, edad y ambiente. Además del tamaño de muestra que para estudios futuros deberían ser en mayor cantidad. Considerar también la relación con otras características especialmente referido a la calidad de cáscara.

V. CONCLUSIONES

- 5.1 Se encontró correlación negativa débil a baja significativa ($P < 0.05$) con peso de albumen, correlación positiva moderada a baja significativa ($P < 0.05$) con índice de yema, correlación positiva moderada a baja significativa ($P < 0.05$) con ancho de huevo y correlación negativa moderada significativa ($P < 0.05$) con largo de huevo.
- 5.2 Las tres clasificaciones de índice de forma de huevo fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$)
- 5.3 Las características de índice de yema, peso absoluto y relativo de albumen, ancho y largo de huevo fueron estadísticamente diferentes entre las tres clasificaciones de índice de forma de huevo.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1 Continuar con la línea de estudio sobre el índice de forma de huevo y su relación con las características de calidad de huevo en otras líneas genéticas de gallinas de postura y en otras edades como inicio y final de fase de producción de huevos.
- 6.2 En estudios futuros sobre el índice de forma del huevo se debe asociar con las características productivas especialmente con la producción de huevo y masa de huevo.
- 6.3 Diseñar y evaluar estrategias metodológicas no-invasivas para generar información y predecir calidad de huevo comerciales
- 6.4 Iniciar estudios sobre la asociación del índice de forma de huevo y características reproductivas, por ejemplo, huevos para incubación o predicción del sexo del pollito
- 6.5 En futuros estudios asociar el índice de forma de huevo con otras características referido a la calidad de cascara como la elasticidad, gravedad específica, entre otros

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chimezie VO, Fayeye TR, Ayorinde KL, Adebunmi A. Phenotypic correlations between egg weight and some egg quality traits in three varieties of japanese quail. (*Coturnix coturnix japonica*). *Agrosearch*. 2017; 17 No. 1: 44– 53. <https://dx.doi.org/10.4314/agrosh.v17i1.4>
2. Inca JS, Martinez DA, Vilchez C. Phenotypic correlation between external and internal egg quality characteristics in 85-week-old laying hens. *International Journal of Poultry Science*. 2020; 19(8): 346-355. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.01821>
3. Vekić M, Savić D, Jotanović S. Phenotypic correlations between egg quality traits amid the laying phase of broiler breeder hens. *Contemporary Agriculture*. 2022; 71(1-2): 13-19. <https://sciendo.com/es/article/10.2478/contagri-2022-0003>
4. Đermanović V, Mitrović S, Petrović M. Broiler breeder age affects carrying eggs intensity, brood eggs incubation values and chicken quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2010; 8(3-4): 666-670. <https://aspace.agrif.bg.ac.rs/handle/123456789/2117>
5. Kontecka H, Nowaczewski S, Sierszuła MM, Witkiewicz K. Analysis of changes in egg quality of broiler breeders during the first reproduction period. *Annals of Animal Science*. 2012; 12(4): 609-620. <https://sciendo.com/es/article/10.2478/v10220-012-0051-1>
6. Favero A, Vieira SL, Angel CR, Bess F, Cemin HS, Ward TL. Reproductive performance of Cobb 500 breeder hens fed diets supplemented with zinc, manganese, and copper from inorganic and amino acid-complexed sources. *Journal of Applied Poultry Research*. 2013; 22(1): 80-91. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00607>
7. King'ori AM. Review of the factors that influence egg fertility and hatchability in poultry. *International Journal of Poultry Science*. 2011; 10(6): 483-492. <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.483.492>
8. Olawumi SO, Ogunlade JT. Phenotypic correlation between some external and internal egg quality traits in the exotic Isa brown layer breeders. *Asian Journal of Poultry Science*. 2008; 2(1): 30-35. <https://doi.org/10.3923/ajpsaj.2008.30.35>
9. Sirri F, Zampiga M, Berardinelli A, Meluzzi A. Variability and interaction of some egg physical and eggshell quality attributes during the entire laying hen

- cycle. Poultry Science. 2018; 97(5): 1818-1823.
<https://doi.org/10.3382/ps/pex456>
10. Duman M, Sekeroglu A, Yildirim A, Eleroglu H, Camci O. Relation between egg shape index and egg quality characteristics. European Poultry Science. 2016; 80: 1-9. <https://www.european-poultry-science.com/relation-between-egg-shape-index-and-egg-quality-characteristics.QUIEPTQ5NTQwNjImTUIEPTE2MTAxNA.html#:~:text=The re%20was%20no%20significant%20correlation,for%20use%20in%20breeding%20programs>.
 11. Máchal L, Simeonovová J. The relationship of shortening and strength of eggshell to some egg quality indicators and egg production in hens of different initial laying lines. Arch. Tierz., Dummerstorf 45. 2002; 3, 287-296. <https://aab.copernicus.org/articles/45/287/2002/>
 12. Ojedapo LO. Phenotypic Correlation Between the External and Internal Egg Quality Traits of Pharaoh Quail Reared in Derived Savanna Zone of Nigeria. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. 2013; Vol.3, No.10. www.iiste.org ISSN 2224-3208 (Paper) ISSN 2225-093X (Online). <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/7240>
 13. Hassan AK. “Productive and physiological responses of japanese quail embryos to light regime during incubation period”, Slovak Journal of Animal Science. 2009; 42 (2), 79–86. http://www.vuzv.sk/slju/09_2/Hassan.pdf
 14. Kul S, Seker I. Phenotypic correlations between some external and internal egg quality traits in the Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). International Journal of Poultry Science. 2004; 3 (6) 400-405. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2004.400.405>
 15. Yakubu A, Ogah DM, Barda RF. “Productivity and Egg quality characteristics of free-range Naked Neck and normal feathered Nigerian Indigenous chickens”, International Journal of Poultry Science. 2008; 7(6), 579-585. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2008.579.585>
 16. Sarica M, Erensayin C. Poultry Products. In: TURKOGLU M., M. SARICA: Poultry Science. 2009. Bey-Ofset, Ankara, Turkey, ISBN (Not available), 89-138.
 17. GRAMNO. Calculadora estadística. 2022
 18. FONAGRO. Información meteorológica diaria de la estación. Chincha. SENAMHI. Dirección Regional de Ica. 24 p. 2019.
 19. AFOS. Programa de formulación de dietas balanceadas. 2022.

20. Guevara, V.R. Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. *Poultry Science*. 2004; 83 (1): 147-151. <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.147>
21. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, INSTITUTE. User's Guide: Statistics. Versión 9.4. Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA. 2021
22. Salvador T.E. Curso de Bioestadística. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". 2021.
23. Narushin VG, Romanov MN, Lu G, Cugley J, Griffin DK. Digital imaging assisted geometry of chicken eggs using Hügelschaffer's model, *Biosystems Engineering*. 2020; 197: 45–55, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.06.008>
24. Yenilmez F, Atay A. Changes in Egg Production, Egg Quality, Blood and Egg Cholesterol Levels with Age in Layer Hen. *European Journal of Veterinary Medicine*. 2023; 3(2): 6–11. <https://doi.org/10.24018/ejvetmed.2023.3.2.73>
25. Shaker AS, Ameen QA, Torres MA, Chassab JH. "Using the external egg traits to predict the shape index by using multiple linear regression among local and commercial chicken." *Plant Archives*. 2020; 20(2): 6685-6688. <https://portal.arid.my/Publications/a4f2894d-58de-40d7-a736-c1f326c2109d.pdf>
26. Zhang LC, Ning ZH, Xu GY, Hou ZC, Yang N. Heritabilities and Genetic and Phenotypic Correlations of Egg Quality Traits in Brown-Egg Dwarf Layers. *Poultry Science*. 2005; 84: 1209-1213. <https://doi.org/10.1093/ps/84.8.1209>
27. Altuntas E, ekeroglu AS. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs, *J. Food Eng.* 2008; 85 (4): 606–612, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.022>
28. Ashraf M, Rehman Z. Poultry breeding and selection, in: M. Yousaf, A. Haq, A. Haq (Eds.), *Poultry Production Technology*, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan. 2017; 28–41. Available in, <https://tripleis.org/wp-content/uploads/2021/04/Poultry-Breeding-and-Selection.pdf>
29. Sokołowicz Z, Krawczyk J, Dykiel M. The effect of the type of alternative housing system, genotype and age of laying hens on egg quality, *Annal. Anim. Sci.* 2018; 18 (2): 541–556, <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0004>
30. Nishiyama Y. The mathematics of egg shape. *Int. J. Pure Appl. Math.* 2012; 78 (5): 679–689, <https://doi.org/10.7717/peerj.5052>
31. de Oliveira-Boreli FP, Pereira DF, Gonçalves JA, da Silva VZ, de Alencar Nääs I. Non-destructive assessment of hens' eggs quality using image analysis and

- machine learning, *Smart Agricultural Technology*. 2023; 4: 100161, <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100161>
32. Rizzi C. Yield performance, laying behaviour traits and egg quality of purebred and hybrid hens reared under outdoor conditions. *Animals*. 2020; 10 (4): 584, <https://doi.org/10.3390/ani10040584>
33. Nikolova N, Kocevski D. Forming egg shape index as influenced by ambient temperatures and age of hens, *Biotechnol. Anim. Husband*. 2006; 22 (1–2): 119–125, <https://doi.org/10.2298/BAH0602119N>
34. Lordelo M, Cid J, Cordovil CMDs, Alvas SP, Bessa RJB, Carolino I. A comparison between the quality of eggs from indigenous chicken breeds and that from commercial layers, *Poult. Sci*. 2020; 99 (3):1768–1776, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.023>
35. Usman M, Bashir A, Akram M, Zahoor I, Mahmud A. Effect of age on production performance, egg geometry and quality traits of lakha variety of Aseel chicken in Pakistan. *Journal of Basic and applied sciences*. 2014; 10:384-386. <https://pdfs.semanticscholar.org/d450/b581bcbab2e93684166ce6d314c041f23ab8.pdf>
36. Kayadan M, Uzun Y. High accuracy gender determination using the egg shape index. *Sci Rep* 13, 504 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-27772-4>

VIII. ANEXO

8.1 Formula de la dieta utilizada

INGREDIENTES	(%)
MAIZ	56.1966
TORTA DE SOYA	18.653
SUBPRODUCTO DE TRIGO	8.00
CARBONATO DE CALCIO GRUESO	6.50
SOYA INTEGRAL	5.00
CARBONATO DE CALCIO FINO	2.267
ACEITE DE SOYA	1.3258
MONTAFOS (P monodicalcico) 21	1.0708
METIONINA	0.1945
SAL COMUN	0.1698
CLORURO DE COLINA	0.1325
PREMIX MIN+VIT	0.12
SECUESTRANTE MICOTOXINAS	0.10
BICARBONATO DE SODIO	0.2692
TREONINA	0.0009
TOTAL	100.00
COMPOSICION NUTRICIONAL	
Costo (\$/Kg)	1.909
Energía Metabolizable (Kcal/Kg)	2750
proteína cruda (%)	16.5
Lisina SID (%)	0.71
Met + Cist SID (%)	0.64
Treonina SID (%)	0.5
Calcio (%)	3.57
Fosforo disponible (%)	0.37
Cloro (%)	0.16
Sodio (%)	0.16

8.2 Resultados de análisis estadísticos

UNIDAD HAUGH

Correlation Coefficients

Procedimiento CORR

1 Variables With:	UH
1 Variables:	IFH

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Mediana	Mínimo	Máximo
UH	120	91.90750	4.94457	91.70000	75.30000	106.90000
IFH	120	74.80283	3.13417	75.00204	70.23847	83.64872

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0	
	IFH
UH	0.11655 0.2049

Coeficientes de correlación Spearman, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0	
	IFH
UH	0.12514 0.1732

Coeficientes de correlación Kendall Tau b, N = 120 Prob > tau suponiendo H0: Tau=0	
	IFH
UH	0.08423 0.1742

Pearson Estadísticos de correlación (Transformación Z de Fisher)							
Variable	Con variable	N	Correlación de muestra	Z de Fisher	95% Límites de confianza		p valor para H0:Rho=0
IFH	UH	120	0.11655	0.11708	-0.064029	0.289738	0.2054

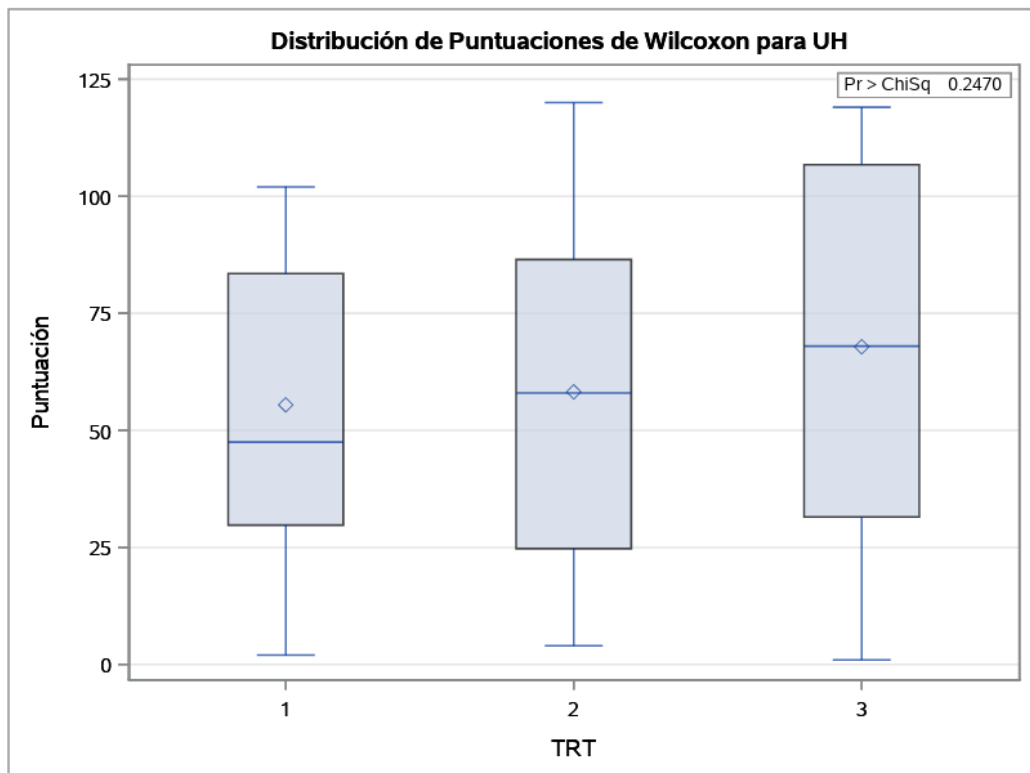
Spearman Estadísticos de correlación (Transformación Z de Fisher)							
Variable	Con variable	N	Correlación de muestra	Z de Fisher	95% Límites de confianza		p valor para H0:Rho=0
IFH	UH	120	0.12514	0.12580	-0.055343	0.297704	0.1736

Procedimineto NPAR1WAY

Puntuaciones de Wilcoxon (Sumas de rango) para variable UH Clasificado por variable TRT					
TRT	N	Suma de puntuaciones	Esperado debajo de H0	Desv. est. debajo de H0	Puntuación media
1	40	2218.00	2420.0	179.605544	55.45000
2	40	2328.50	2420.0	179.605544	58.21250
3	40	2713.50	2420.0	179.605544	67.83750

Se utilizaron puntuaciones media para valores repetidos.

Test de Kruskal-Wallis		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
2.7966	2	0.2470



Correlation Coefficients

Procedimiento CORR

1 Variables With:	IY
1 Variables:	IFH

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Mediana	Mínimo	Máximo
IY	120	0.43932	0.04688	0.42600	0.37400	0.69400
IFH	120	74.80283	3.13417	75.00204	70.23847	83.64872

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0	
	IFH
IY	0.39430 <.0001

Coeficientes de correlación Spearman, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0	
	IFH
IY	0.47319 <.0001

Coeficientes de correlación Kendall Tau b, N = 120 Prob > tau suponiendo H0: Tau=0	
	IFH
IY	0.32275 <.0001

Pearson Estadísticos de correlación (Transformación Z de Fisher)							
Variable	Con variable	N	Correlación de muestra	Z de Fisher	95% Límites de confianza		p valor para H0:Rho=0
IFH	IY	120	0.39430	0.41688	0.231413	0.535681	<.0001

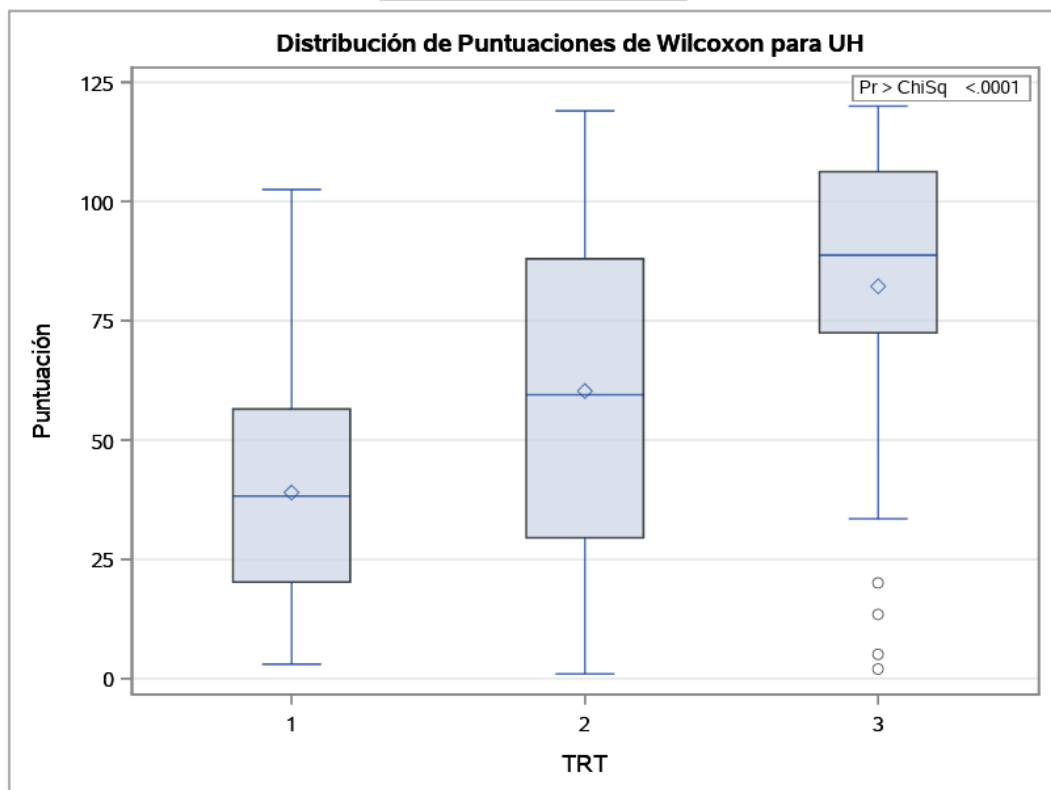
Spearman Estadísticos de correlación (Transformación Z de Fisher)							
Variable	Con variable	N	Correlación de muestra	Z de Fisher	95% Límites de confianza		p valor para H0:Rho=0
IFH	IY	120	0.47319	0.51418	0.321196	0.601425	<.0001

Procedimineto NPAR1WAY

Puntuaciones de Wilcoxon (Sumas de rango) para variable UH Clasificado por variable TRT					
TRT	N	Suma de puntuaciones	Esperado debajo de H0	Desv. est. debajo de H0	Puntuación media
1	40	1560.0	2420.0	179.584956	39.0000
2	40	2411.0	2420.0	179.584956	60.2750
3	40	3289.0	2420.0	179.584956	82.2250

Se utilizaron puntuaciones media para valores repetidos.

Test de Kruskal-Wallis		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
30.9004	2	<.0001



COLOR DE YEMA

Correlation Coefficients

Procedimiento CORR

1 Variables With:	COLORYEMA
1 Variables:	IFH

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Mediana	Mínimo	Máximo
COLORYEMA	120	7.37500	0.58068	7.00000	6.00000	9.00000
IFH	120	74.80283	3.13417	75.00204	70.23847	83.64872

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0	
	IFH
COLORYEMA	-0.12573 0.1712

Coeficientes de correlación Spearman, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0	
	IFH
COLORYEMA	-0.14534 0.1132

Coeficientes de correlación Kendall Tau b, N = 120 Prob > tau suponiendo H0: Tau=0	
	IFH
COLORYEMA	-0.11453 0.1195

Pearson Estadísticos de correlación (Transformación Z de Fisher)							
Variable	Con variable	N	Correlación de muestra	Z de Fisher	95% Límites de confianza		p valor para H0:Rho=0
IFH	COLORYEMA	120	-0.12573	-0.12640	-0.298250	0.054745	0.1716

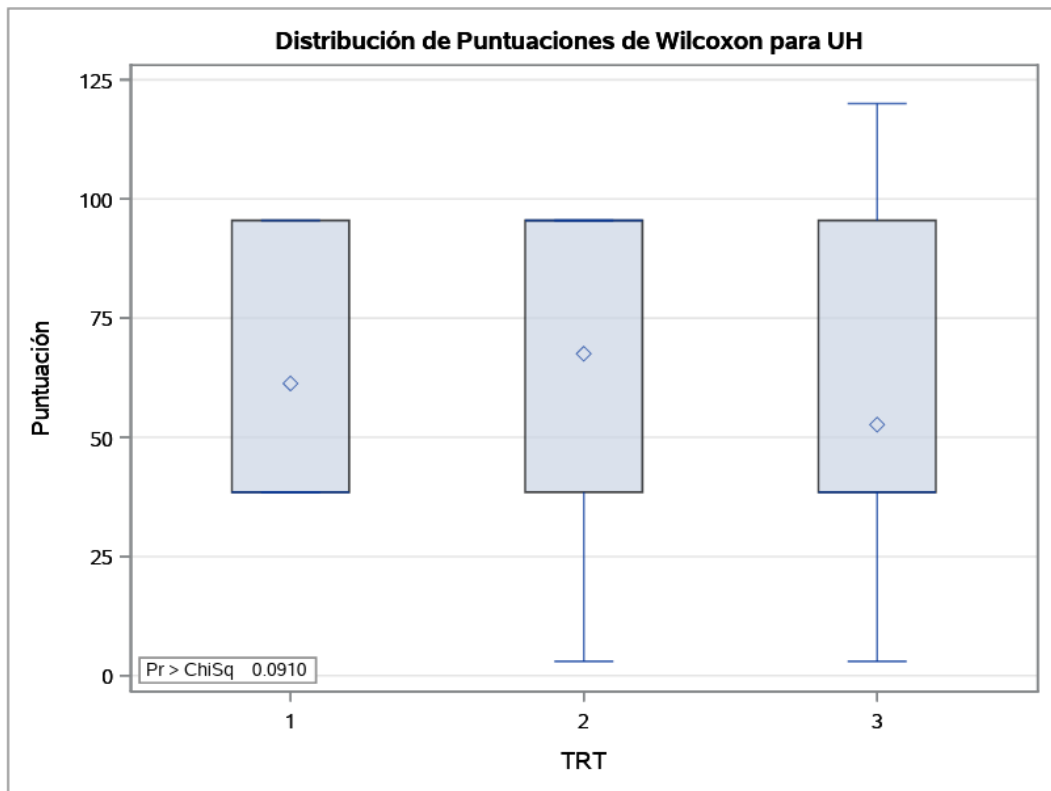
Spearman Estadísticos de correlación (Transformación Z de Fisher)							
Variable	Con variable	N	Correlación de muestra	Z de Fisher	95% Límites de confianza		p valor para H0:Rho=0
IFH	COLORYEMA	120	-0.14534	-0.14638	-0.316340	0.034809	0.1134

Procedimineto NPAR1WAY

Puntuaciones de Wilcoxon (Sumas de rango) para variable UH Clasificado por variable TRT					
TRT	N	Suma de puntuaciones	Esperado debajo de H0	Desv. est. debajo de H0	Puntuación media
1	40	2452.00	2420.0	157.583645	61.30000
2	40	2701.50	2420.0	157.583645	67.53750
3	40	2106.50	2420.0	157.583645	52.66250

Se utilizaron puntuaciones media para valores repetidos.

Test de Kruskal-Wallis		
Chi-cuadrado	DF	Pr > ChiSq
4.7934	2	0.0910



PESO ABSOLUTO DE YEMA

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables:	INDICEFORMA PESOYEMA
---------------------	----------------------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	40	71.25505	0.53155	2850	70.23847	71.99344
PESOYEMA	40	17.36036	0.84988	694.41440	16.08470	19.42100

Coeficientes de correlación Pearson, N = 40 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	PESOYEMA
INDICEFORMA	1.00000	0.06753 0.6788
PESOYEMA	0.06753 0.6788	1.00000

Procedimiento GLM

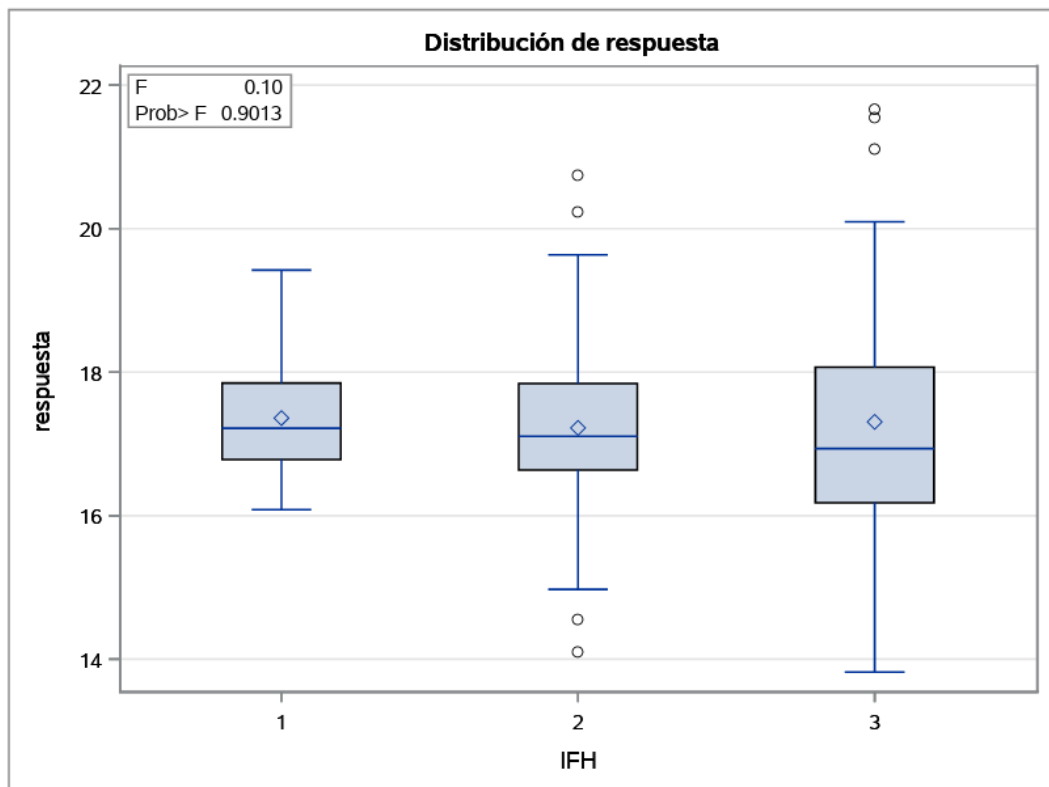
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	0.3873363	0.1936682	0.10	0.9013
Error	117	217.9398093	1.8627334		
Total corregido	119	218.3271456			

R-cuadrado	Var Coef.	Raiz MSE	Media de respuesta
0.001774	7.890975	1.364820	17.29596

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	0.38733632	0.19366816	0.10	0.9013

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	0.38733632	0.19366816	0.10	0.9013



PESO RELATIVO DE YEMA

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables:	INDICEFORMA PRYEMA
--------------	--------------------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	120	74.80283	3.13417	8976	70.23847	83.64872
PRYEMA	120	25.36115	2.03388	3043	20.76712	30.49458

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	PRYEMA
INDICEFORMA	1.00000	0.16172 0.0776
PRYEMA	0.16172 0.0776	1.00000

Procedimiento GLM

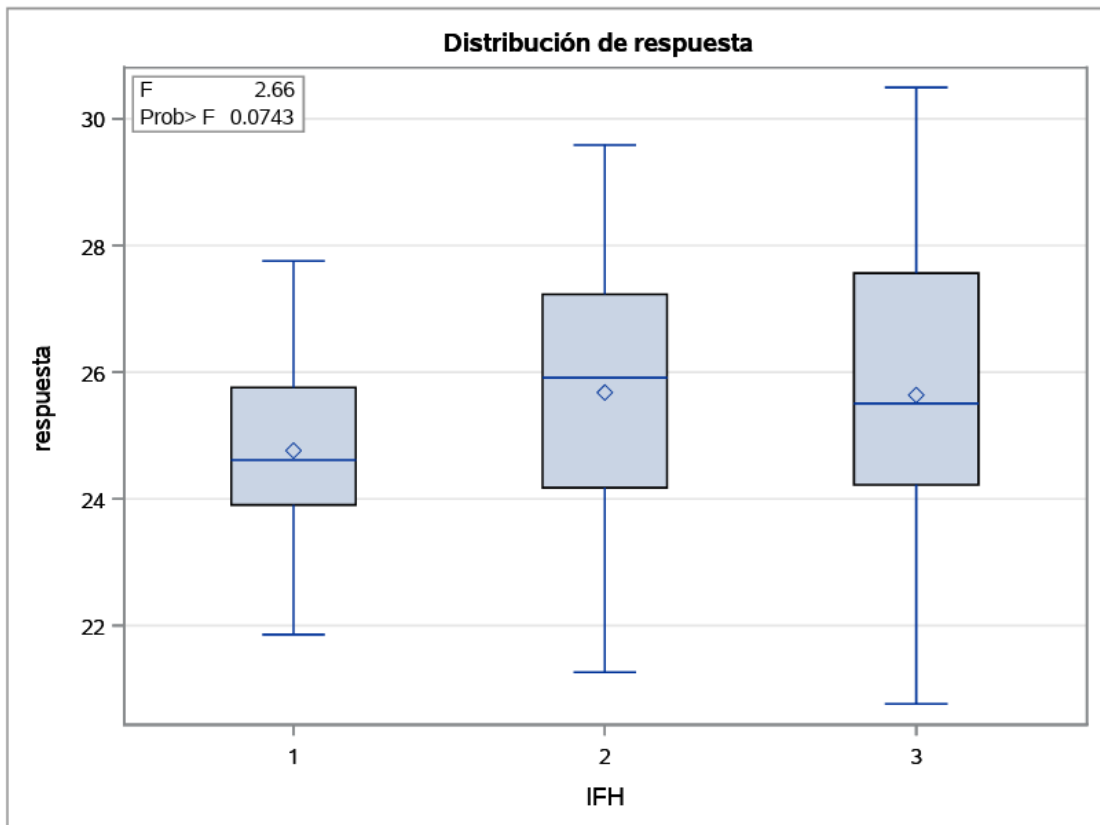
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	21.3924428	10.6962214	2.66	0.0743
Error	117	470.8722580	4.0245492		
Total corregido	119	492.2647008			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de respuesta
0.043457	7.910240	2.006128	25.36115

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	21.39244277	10.69622139	2.66	0.0743

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	21.39244277	10.69622139	2.66	0.0743



PESO DE ALBUMEN

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables: INDICEFORMA PESOALBUMEN

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	120	74.80283	3.13417	8976	70.23847	83.64872
PESOALBUMEN	120	44.30433	3.88453	5317	32.69470	56.25730

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	PESOALBUMEN
INDICEFORMA	1.00000	-0.24122 0.0080
PESOALBUMEN	-0.24122 0.0080	1.00000

Procedimiento GLM

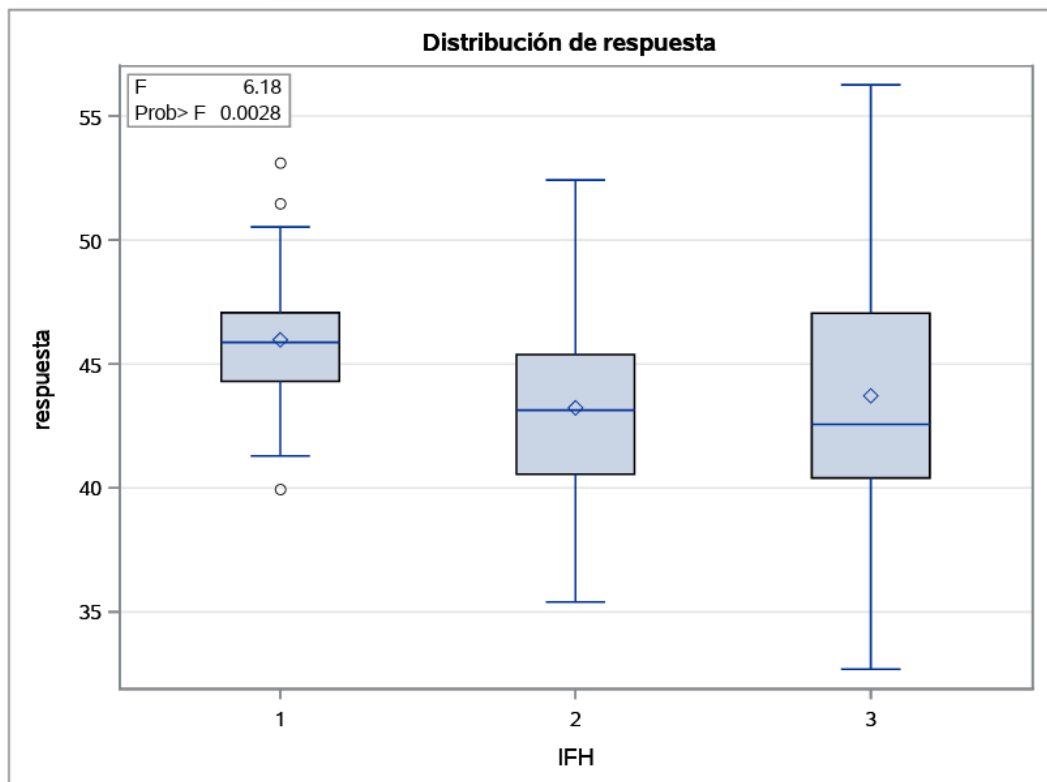
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	171.475370	85.737685	6.18	0.0028
Error	117	1624.188173	13.881950		
Total corregido	119	1795.663543			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de respuesta
0.095494	8.409672	3.725849	44.30433

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	171.4753698	85.7376849	6.18	0.0028

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	171.4753698	85.7376849	6.18	0.0028



PESO RELATIVO DE ALBUMEN

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables: INDICEFORMA PRALBUMEN

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	120	74.80283	3.13417	8976	70.23847	83.64872
PRALBUMEN	120	64.74141	2.20939	7769	58.73333	70.05890

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	PRALBUMEN
INDICEFORMA	1.00000	-0.16547 0.0709
PRALBUMEN	-0.16547 0.0709	1.00000

Procedimiento GLM

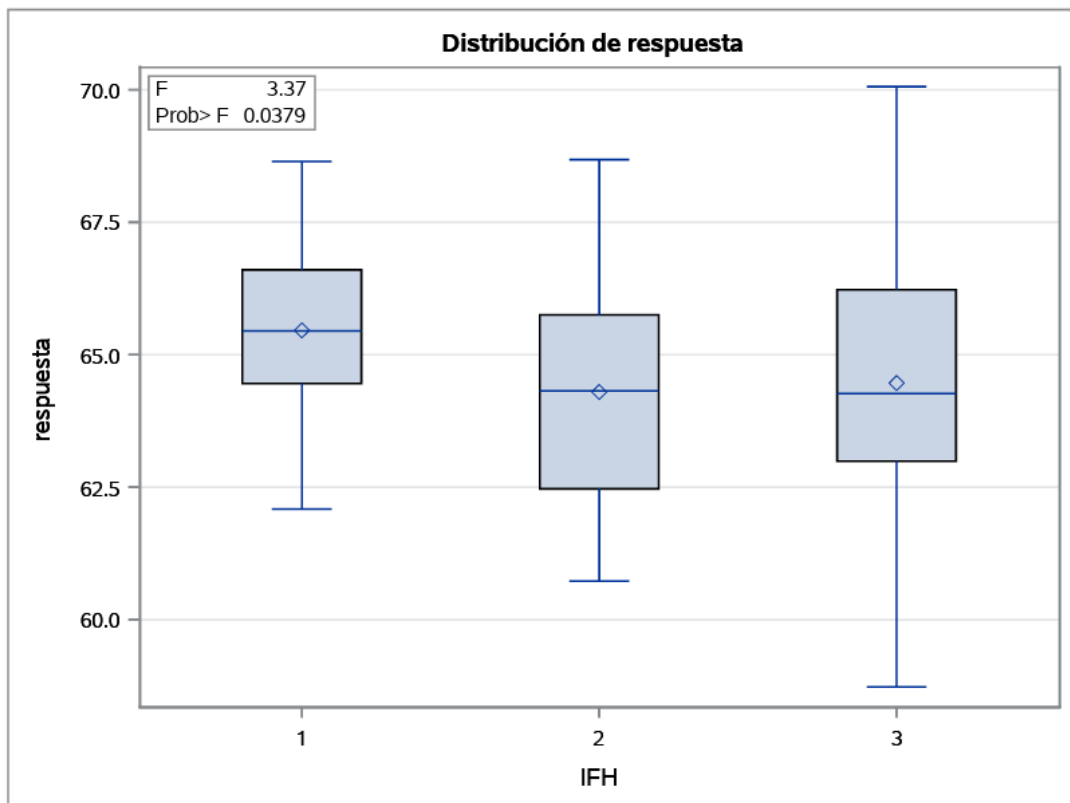
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	31.6520559	15.8260280	3.37	0.0379
Error	117	550.1924732	4.7024998		
Total corregido	119	581.8445291			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de respuesta
0.054400	3.349576	2.168525	64.74029

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	31.65205590	15.82602795	3.37	0.0379

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	31.65205590	15.82602795	3.37	0.0379



PESO RELATIVO DE CASCARA

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables: INDICEFORMA PRCASCARA

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	120	74.80283	3.13417	8976	70.23847	83.64872
PRCASCARA	120	9.89856	0.72813	1188	7.69530	12.04970

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	PRCASCARA
INDICEFORMA	1.00000	0.04976 0.5894
PRCASCARA	0.04976 0.5894	1.00000

Procedimiento GLM

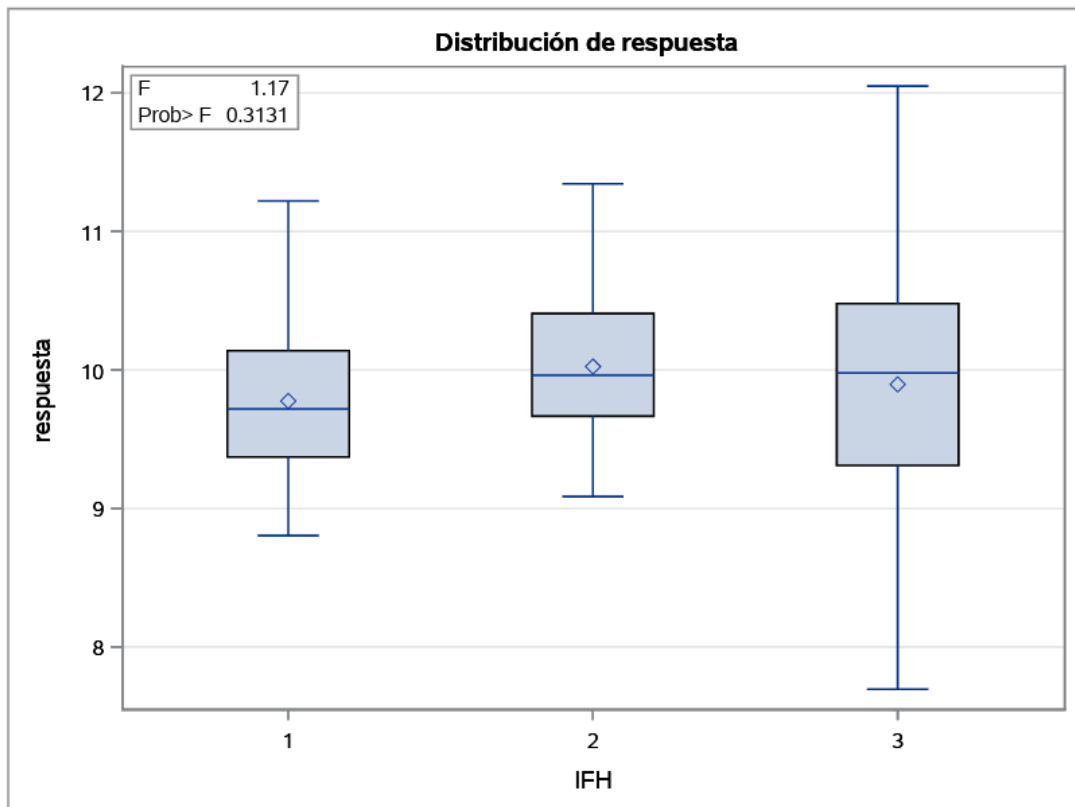
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	1.24003361	0.62001680	1.17	0.3131
Error	117	61.85015427	0.52863380		
Total corregido	119	63.09018787			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de respuesta
0.019655	7.345228	0.727072	9.898564

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	1.24003361	0.62001680	1.17	0.3131

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	1.24003361	0.62001680	1.17	0.3131



RESISTENCIA A ROTURA DE CASCARA

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables:	INDICEFORMA RESISTENCIA
---------------------	-------------------------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	120	74.80283	3.13417	8976	70.23847	83.64872
RESISTENCIA	120	4.18717	0.78497	502.46000	1.18000	6.95000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	RESISTENCIA
INDICEFORMA	1.00000	-0.02781 0.7631
RESISTENCIA	-0.02781 0.7631	1.00000

Procedimiento GLM

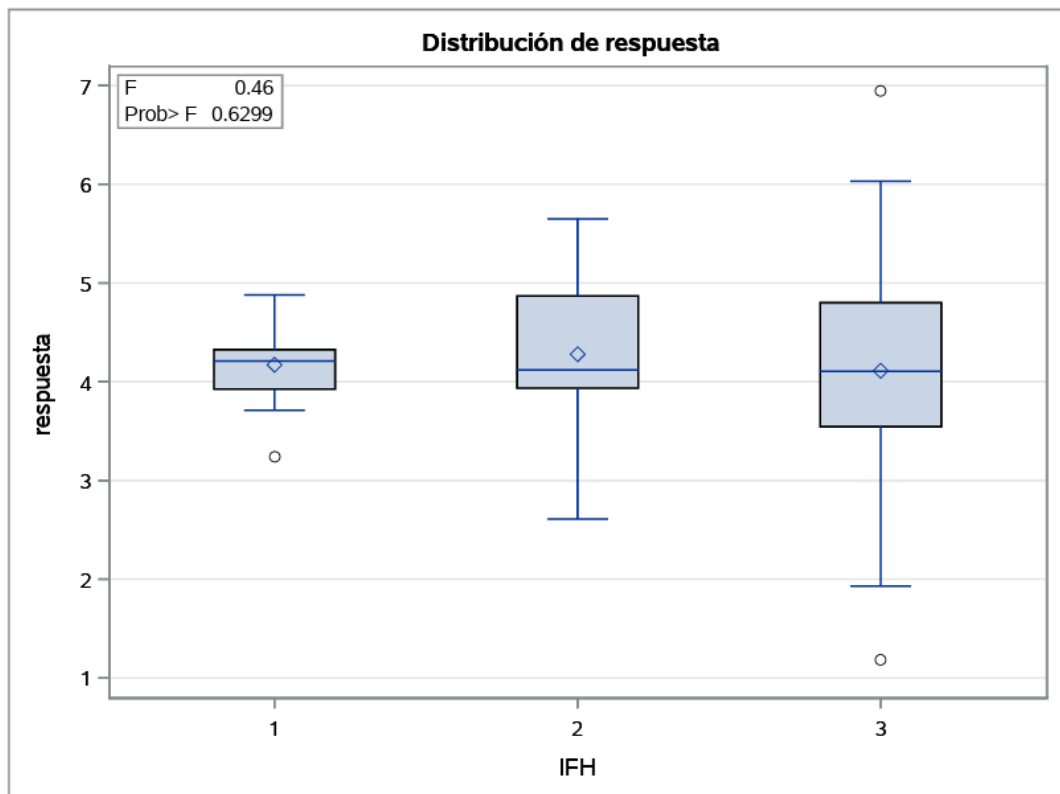
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	0.57706167	0.28853083	0.46	0.6299
Error	117	72.74837500	0.62178098		
Total corregido	119	73.32543667			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de respuesta
0.007870	18.83209	0.788531	4.187167

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	0.57706167	0.28853083	0.46	0.6299

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	0.57706167	0.28853083	0.46	0.6299



GROSOR DE CASCARA

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables:	INDICEFORMA GROSOR
---------------------	--------------------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	120	74.80283	3.13417	8976	70.23847	83.64872
GROSOR	120	0.40342	0.02767	48.41000	0.33000	0.52000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	GROSOR
INDICEFORMA	1.00000	0.11485 0.2116
GROSOR	0.11485 0.2116	1.00000

Procedimiento GLM

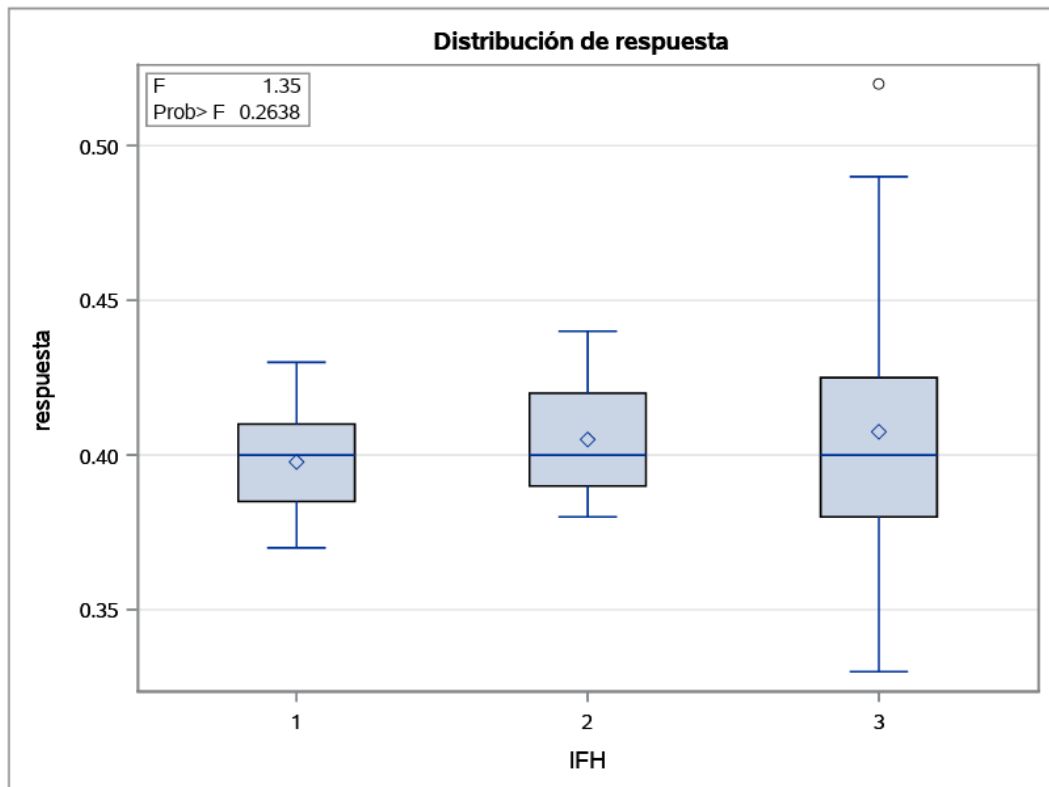
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	0.00205167	0.00102583	1.35	0.2638
Error	117	0.08904750	0.00076109		
Total corregido	119	0.09109917			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de respuesta
0.022521	6.838551	0.027588	0.403417

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	0.00205167	0.00102583	1.35	0.2638

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	0.00205167	0.00102583	1.35	0.2638



Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables: INDICEFORMA ANCHOHUEVO

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	119	74.80625	3.14720	8902	70.23847	83.64872
ANCHOHUEVO	120	44.63092	1.36248	5356	40.76000	48.46000

Coeficientes de correlación Pearson Prob > r suponiendo H0: Rho=0 Número de observaciones		
	INDICEFORMA	ANCHOHUEVO
INDICEFORMA	1.00000 119	0.49317 <.0001 119
ANCHOHUEVO	0.49317 <.0001 119	1.00000 120

Procedimiento GLM

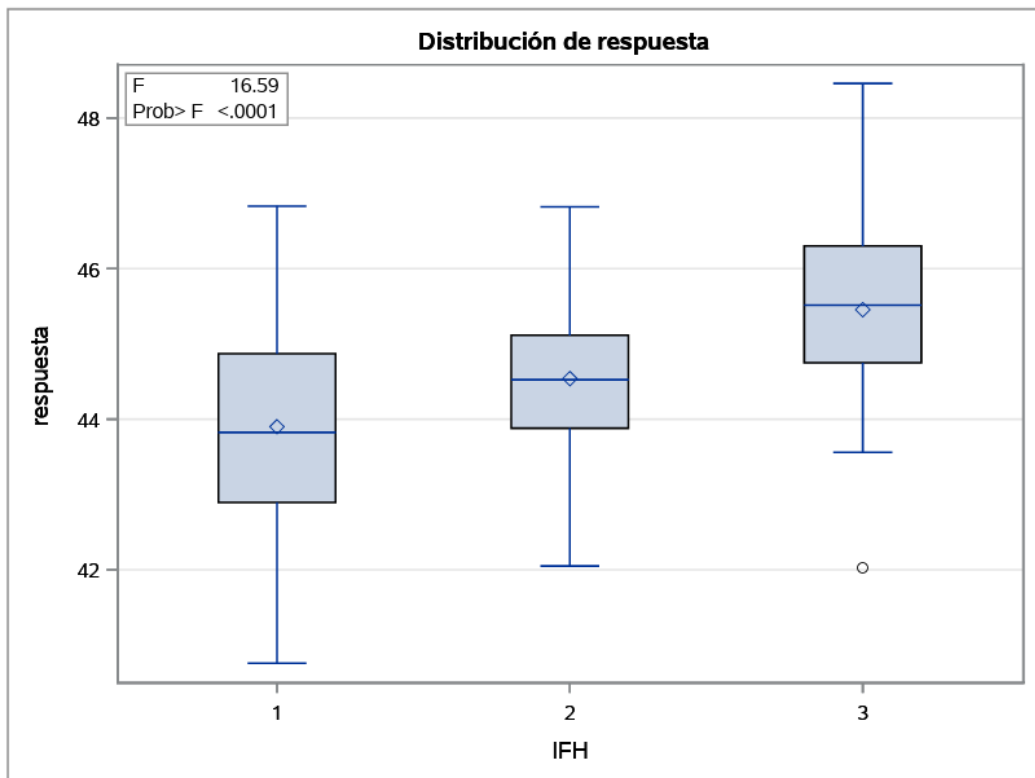
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	48.8024867	24.4012433	16.59	<.0001
Error	117	172.1041125	1.4709753		
Total corregido	119	220.9065992			

R-cuadrado	Var Coef.	Raíz MSE	Media de respuesta
0.220919	2.717483	1.212838	44.63092

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	48.80248667	24.40124333	16.59	<.0001

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	48.80248667	24.40124333	16.59	<.0001



LARGO DE HUEVO

Example of correlation matrix

Procedimiento CORR

2 Variables: INDICEFORMA LARGOHUEVO

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
INDICEFORMA	120	74.80283	3.13417	8976	70.23847	83.64872
LARGOHUEVO	120	59.73050	2.26090	7168	54.43000	66.46000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 120 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	INDICEFORMA	LARGOHUEVO
INDICEFORMA	1.00000	-0.69996 <.0001
LARGOHUEVO	-0.69996 <.0001	1.00000

Procedimiento GLM

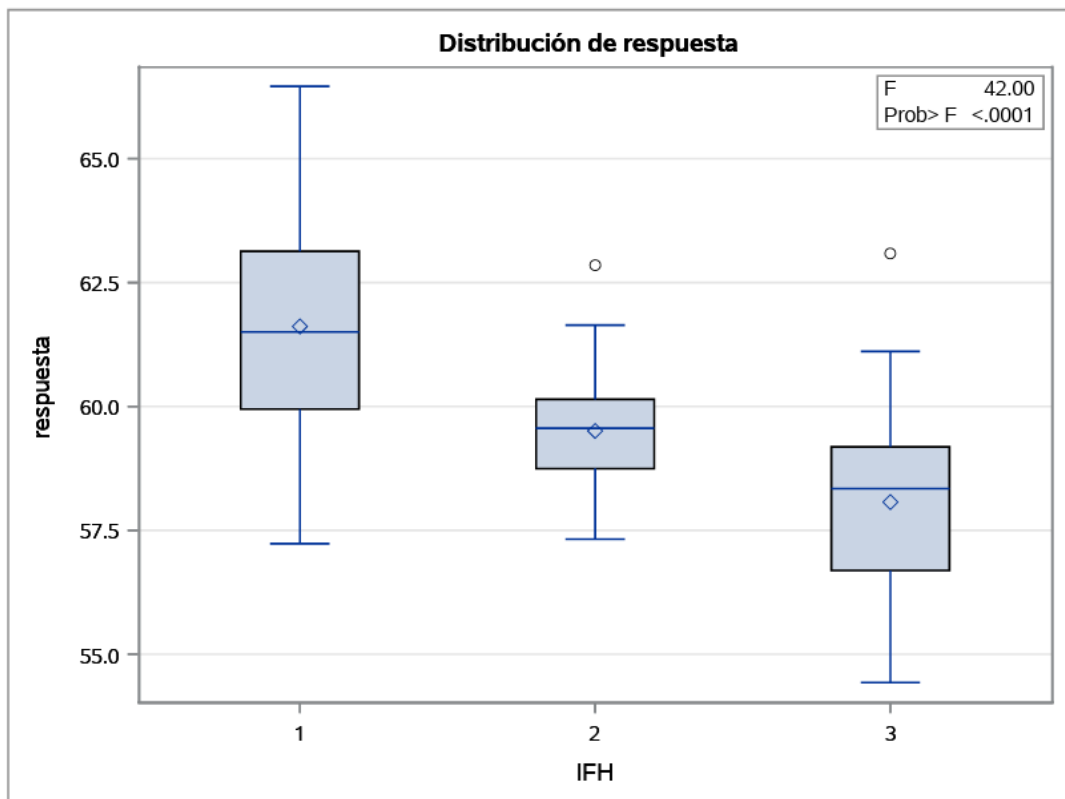
Variable dependiente: respuesta

Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	2	254.2227350	127.1113675	42.00	<.0001
Error	117	354.0646350	3.0261935		
Total corregido	119	608.2873700			

R-cuadrado	Var Coef.	Raiz MSE	Media de respuesta
0.417932	2.912408	1.739596	59.73050

Origen	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	254.2227350	127.1113675	42.00	<.0001

Origen	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
IFH	2	254.2227350	127.1113675	42.00	<.0001



8.3 Fotos del proceso de investigación